



TITLE:

# 設置環境を考慮した工作機械のエネルギー効率改善に関する研究( Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

森, 幸太郎

---

CITATION:

森, 幸太郎. 設置環境を考慮した工作機械のエネルギー効率改善に関する研究. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22064>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	森 幸太郎
論文題目	設置環境を考慮した工作機械のエネルギー効率改善に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、工作機械のエネルギー消費を設置環境の観点から分析し、設置環境に対して順応しながらエネルギー効率を改善するために工作機械に必要な機能を検討し、その機能を実現するシステムを開発してその効果を分析した結果についてまとめたものであり、全7章からなっている。着目した環境因子としては、(1)工作機械の設置床の幾何学的形状とその長期的な変化、(2)設置床の動的な力学特性、(3)冷却や自然放熱による機械本体と補機・周辺環境間の熱移動であり、(1)-(3)をそれぞれ静的支持環境、動的支持環境、熱環境と分類している。順応機能を実現するシステムの開発目標として、静的支持環境順応は床の初期形状と変化に対するレベル調整作業時間の短縮、動的支持環境順応は床の動特性に起因する低周波残留振動の抑制、熱環境順応は冷却パターンや制御温度設定を変化させて加工精度を損なわずエネルギー消費を低減することと設定している。さらに、各順応機能を工作機械に適用した場合のエネルギー削減量を試算し、その効果についてまとめている。</p> <p>第1章は序論であり、工作機械のエネルギー効率改善の必要性和過去の研究について述べている。</p> <p>第2章では、設置環境がエネルギー消費に与える影響について考察し、設置環境に順応して省エネルギー加工を実現するための3つの機能の詳細について述べている。静的支持環境順応機能は、機械支持部に組み込んだ荷重センサを用いて、支持脚長さを推定し機械のレベル（機械の運動誤差を抑制するために機体を水平に保つこと）を調整する。動的支持環境順応機能は、設置環境にあわせて工作機械支持部の減衰特性を変化させ、ロッキング振動の収束時間を短縮する。以上の機能は、待機時間と加工時間を短縮することでエネルギー消費を削減することを狙っている。熱環境順応機能は、冷却液と工作機械間の熱伝達と機械の運転状態と熱変位変動を考慮して冷却システムのエネルギー消費を削減する。</p> <p>第3章では、静的支持環境順応機能の設計原理と検証方法・結果について述べている。各支持脚の長さや支持荷重の関係を剛性行列でモデル化し、実際の立形工作機械の測定結果から線形性の仮定が成り立つことを示した。調整法の検証のために、モデルを用いて脚荷重から脚長さを推定してその誤差を評価する方法を考案した。すべての支持脚に作用する荷重を用いて、レベル調整を行う全点調節法の評価を行った結果、0.01 N程度の精度を持つ荷重センサが必要であり、実用上の問題があることを示した。この問題を解決するために、静定支持状態となる支持脚を事前に選んでレベル調整し、残りの支持脚の脚長さを調整する点数制限調節法を提案した。この方法を用いて、脚荷重の測定誤差が脚長さの推定誤差に与える影響を調べた結果、測定精度 100 N程度のセンサで推定誤差 5 μmが達成でき、実用上十分な精度でレベル調整ができることを示した。</p> <p>第4章では、動的支持環境順応の原理と検証方法・結果について述べている。機械運動時に問題となる残留振動は、設置床上で機械がロッキング振動するモードに起因す</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	森 幸太郎
<p>る。このモードが水平運動をとまなうことに着目し、工作機械のベース下面と床の間で水平方向に作用するダンパを並列に設置することで、設置床を改変せず減衰を調整する方法を提案した。接触面圧が作用する垂直方向に対して直角なせん断方向にエネルギーを散逸できるエラストマを用いてダンパを試作し、その減衰機構をモデルして、基礎試験装置で減衰力を測定して、モデルパラメータを同定した。試作したダンパの減衰力への振動振幅と面圧の影響を調査して、垂直荷重が増加した場合において減衰力が増加することを明らかにした。試作したダンパを立形工作機械のベース下面に複数個配置し、ダンパへの面圧（据え付け荷重）を変化させて、ロッキングモード振動の振動収束時間を短縮できることを示した。</p> <p>第5章では、熱環境順応機能の原理と検証方法・結果について述べている。冷却システムの出力と消費エネルギーならびに機械の発熱量と熱変位の関係をモデル化し、熱変位を許容値以下に抑えながら、消費電力を削減する方法を考案した。ヒートポンプ型冷却システムの冷却原理では、低出力域ではCOPが低くなり、高出力領域ではCOPが高くなる。また、高出力領域においても、冷却ユニットの凝縮器が過熱するとCOPが低下する。この問題を解決するために、低出力領域においても高COPで運転し、かつ高出力領域では凝縮器を冷却しながら運転することができる on-off 冷却法を考案し、発生する熱変位を許容値以下に制御しながら高効率冷却を行うために on-off サイクルの決定アルゴリズムを構築した。考案した on-off 冷却法について、冷却ユニットの低出力運転条件ならびに高出力運転条件において、また切削を想定した運転条件において評価を行った結果、冷却ユニットの消費エネルギーを25～75%削減できることを示した。</p> <p>第6章では、検証した機能を立形工作機械に実装した場合に期待されるエネルギー削減量を試算した結果について述べている。試算では、エネルギー消費削減量は、静的支持環境順応、動的支持環境順応、熱環境順応サブシステムの順に大きく、全体で機械1台当たりの月間消費エネルギーの20%程度を削減できることを報告している。</p> <p>第7章は以上をまとめた結言であり、設置環境に順応しながら工作機械を運転する機能の重要性和今後の課題についてまとめている。</p>			